

ЗАЩИЩЕННАЯ СИСТЕМА РАДИОСВЯЗИ НА ОСНОВЕ КОДИРОВАННОГО ПО ВРЕМЕНИ, ЧАСТОТЕ И ФАЗЕ СИГНАЛА

Долматов А.Г., Долматов Д.А., Лучинин А.С., Малыгин И.В., Язовский А.А.
Институт радиоэлектроники и информационных технологий
Уральский федеральный университет им. Б.Н.Ельцина
Ул. Мира, 32, г. Екатеринбург, 620002, Россия
тел.: 8-912-670-5141, e-mail: r303las@mail.ru

Аннотация—Разработан оригинальный алгоритм передачи 8-бит цифровых данных с использованием сигнала, дискретно-кодированного по времени, частоте и фазе с помощью матрицы Костаса и функций Уолша. Обеспечивается высокая скрытность работы и защищенность от широкополосных и узкополосных помех. Алгоритмы формирования сигналов и обработки их на приемной стороне реализованы в ПЛИС типа XC7k325T (Xilinx). Система радиосвязи реализована по технологии SDR (программно определяемое радио) на основе трансивера AD 9361 (Analog Devices).

SECURE RADIO COMMUNICATION SYSTEMS USING ENCODED SIGNAL IN TIME, FREQUENCY AND PHASE

Dolmatov A. G., Dolmatov D. A., Luchinin A.S., Malygin I. V., Yazovsky A.A.
Institute of Radioelectronics and Informational Technologies
Ural Federal University
32, Mira str., Ekaterinburg, 620002, Russia
ph: 8-912-670-5141, e-mail: r303las@mail.ru

Abstract—The original algorithm of transfer 8-bit digital data with use of signal, discretely-encoded in the timing, frequency and phase using the matrix of Costas and of Walsh functions, providing high reserve of work and security from broadband and narrow-band interferences is developed. The algorithms of generation and processing of signals on the receiving side is realized in FPGA of type XC7k325T (Xilinx). A radio communication system on the SDR technology (software defined radio) on the basis of the AD 9361 transceiver (Analog Devices).

I. Введение

Задача обеспечения работоспособности радиотехнических систем в условиях радиопротиводействия решается в течение многих десятилетий. Одним из современных методов решения этой задачи является использование сигналов с расширенным спектром [1-3].

Аппаратура бытового применения (WiMAX, LTE, CDMA) обладает многими положительными свойствами, в том числе повышенной помехоустойчивостью по сравнению с радиосистемами ранних поколений. Однако эта аппаратура не рассчитана на организованное противодействие ее работе [5].

Современная доступная элементная база позволяет реализовать устройства формирования широкополосных сигналов с шириной спектра 50 – 100 МГц и базой порядка 1000.

Достижения в области разработки цифровых синтезаторов частоты и цифровых формирователей сигналов позволяют с большой скоростью перестраивать среднюю частоту в широком диапазоне – от нескольких сотен мегагерц до 5 – 6 ГГц.

При использовании нестандартного радиоканала со сложными сигналами и быстрым изменением рабочей частоты возможно построение системы связи с высокой степенью защищенности от перехвата и противодействия. При этом практически отпадает необходимость шифрования информации (в том понимании, которое обычно употребляется).

II. Основная часть

В настоящей работе проведено исследование возможности реализации описанной радиосистемы с использованием технологии SDR (программно-

определяемое радио) на основе трансивера AD 9361 (Analog Devices).

Разработан оригинальный алгоритм формирования широкополосного сигнала. В его основе последовательность из 16 радиоимпульсов одинаковой длительности, различающихся частотой и фазой. Закон дискретного изменения частоты определяется матрицей Костаса 16×17 (рис. 1), полученной методом Уэлча [4], со свойством не более одного совпадения при любых дискретных сдвигах по времени и частоте, а закон манипуляции по фазе 0 или π задается последовательностями Уолша.

Первые 4 бит цифровой информации передаются в циклическом сдвиге частоты матрицы Костаса, а вторые 4 бита – выбором последовательности Уолша. Таким образом, каждый такой сигнал несет в себе 8 бит информации.

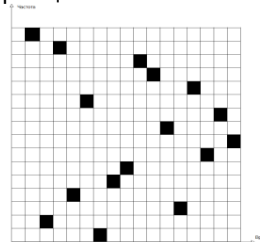


Рис. 1. Матрица Костаса для кода «0000» (в двоичной системе)

Fig. 1. Costas Matrix for "0000" code (in binary system)

Описанный сигнал не передает информацию в задержке, поэтому в условиях многолучевого распространения появляется возможность ее использования для повышения энергетики системы по типу Rake-приёмника. Сигнал устойчив также к действию прицельной и импульсной помех.

Согласованный фильтр для данного сигнала содержит в каждом из 16 частотных каналов многоотводную линию задержки (МЛЗ) и фильтр, согласованный с одиночным радиоимпульсом (ФСОР), 16 блоков быстрого преобразования Адамара (БПА) для объединения откликов ФСОР, а также схему выбора отклика (одного из 256) с абсолютным максимумом. Номер максимального отклика в двоичном коде соответствует принятой кодовой комбинации.

Цифровым моделированием для сигнала получены зависимости вероятности ошибки декодирования $P_{\text{ош}}$ и вероятности правильного обнаружения $P_{\text{прав}}$, при вероятности ложной тревоги 0,0005, от отношения сигнал/шум Q на входе. Моделирование проведено на 20000 реализаций. Длительность каждого радиоимпульса составляла 40 отчётов.

Результаты представлены в Таблице 1.

Таблица 1.

Q , дБ	$P_{\text{ош}}$	$P_{\text{прав}}$
-12.5	0.0	0.991
-13	0.0001	0.978
-13.25	0.0002	0.969
-13.5	0.0003	0.957
-13.75	0.0004	0.941
-14	0.0008	0.921
-14.25	0.0014	0.896
-14.5	0.0022	0.863
-14.75	0.0031	0.823

Результаты расчёта указывают на способность работы системы связи с таким видом сигнала при отношении сигнал/шум менее -12,5 дБ.

Система радиосвязи на основе данного сигнала была реализована по технологии SDR (программно определяемое радио) на основе трансивера AD 9361 (Analog Devices).

Алгоритмы формирования сигналов и обработки их на приемной стороне реализованы в ПЛИС типа XC7k325T (Xilinx).

Трансивер AD 9361 обеспечивает возможность работы в диапазоне частот от 70 МГц до 6 ГГц. На его основе возможно формирование сигналов с шириной спектра до 56 МГц.

Частотно-фазо-манипулированный сигнал поступает на блок интерфейса AD 9361, откуда отправляется в приёмопередатчик, в котором сигнал переносится на частоту порядка 3 – 4 ГГц (выполняется однопольсная модуляция) и излучается в эфир.

Из эфира сигнал поступает на приёмник (трансивера AD 9361). В нём производится однопольсная демодуляция в квадратурном демодуляторе и аналого-цифровое преобразование результата. Через цифровой интерфейс AD 9361 сигнала поступает на обработку в ПЛИС.

Некогерентный прием обеспечивает возможность быстрого изменения рабочей частоты. Многоканальная согласованная обработка позволяет быстро выполнять символьную синхронизацию при перестройках частоты или при срывах синхронизации из-за действия помех.

В экспериментах удалось устойчиво передавать видео при отношении сигнал/шум на входе примерно -6...-10 дБ.

Испытания макета проводились на рабочих частотах 3 – 4 ГГц. При испытаниях передавался

видеосигнал, создаваемый WEB камерой. Данные на радиосистему подавались в стандарте UART с тактовой частотой 1 МГц. Средняя скорость данных составляла 500 кБит/с. Видеосигнал принимался с удовлетворительным качеством при отношении сигнал/шум на входе приемника в полосе 56 МГц до -10 дБ при широкополосной помехе. Примерно такая же помехоустойчивость обеспечивается и по узкополосной помехе.

Внешний вид экспериментальной установки показан на рис. 2.



Рис.2. Экспериментальная установка для исследования характеристик радиосистемы

Fig.2. Experimental installation for research of characteristics of radio system

III. Заключение

1. Разработаны алгоритмы формирования широкополосного сигнала с использованием дискретной частотной и фазовой манипуляции высокочастотной несущей псевдослучайной последовательностью и обработки их на приемной стороне. Алгоритмы обеспечивают высокую скрытность работы и защищенность от широкополосных и узкополосных помех при высокой скорости передачи данных.

2. Разработанные алгоритмы реализованы с использованием ПЛИС XC7k325T (Xilinx). Радиоканал, обладающий высокой скрытностью и помехозащищенностью, реализован на базе трансивера AD 9361 (Analog Devices).

3. Экспериментальная проверка разработанной системы показала устойчивую работоспособность при передаче видеоинформации со скоростью 500 кБит/с при отношении сигнал/шум -10 дБ. Ширина спектра сигнала в эксперименте составляла 56 МГц. Проведенные эксперименты подтвердили результаты цифрового моделирования.

IV. Литература

- [1] Sverdlіk M.B. Optimal'nye diskretnye signaly. M, Sovetskoe radio, 1975. 200 p.
- [2] Losev V.V., Brodskaja E.B., Korgik V.I. Poisk i dekodirovanie slozhnyh diskretnykh signalov – M.: Radio i svjaz', 1988. 223 p.
- [3] Malygin I.V. Shirokopolosnye sistemy svjazi. Proektirovanie, komponenty, zaschita ot pomех. Saarbrücken, LAP Lambert Academic Publishing, 2012. 190 p.
- [4] Nadav Levanon, Eli Mozeson. Radar Signals. ISBN: 978-0-471-47378-7, July 2004, Wiley-IEEE Press, 432 p.
- [5] A real-time MIMO-OFDM mobile WiMAX receiver: Architecture, design and FPGA implementation. Computer Networks, Volume 55, Issue 16, 10 November 2011, Pages 3634-3647